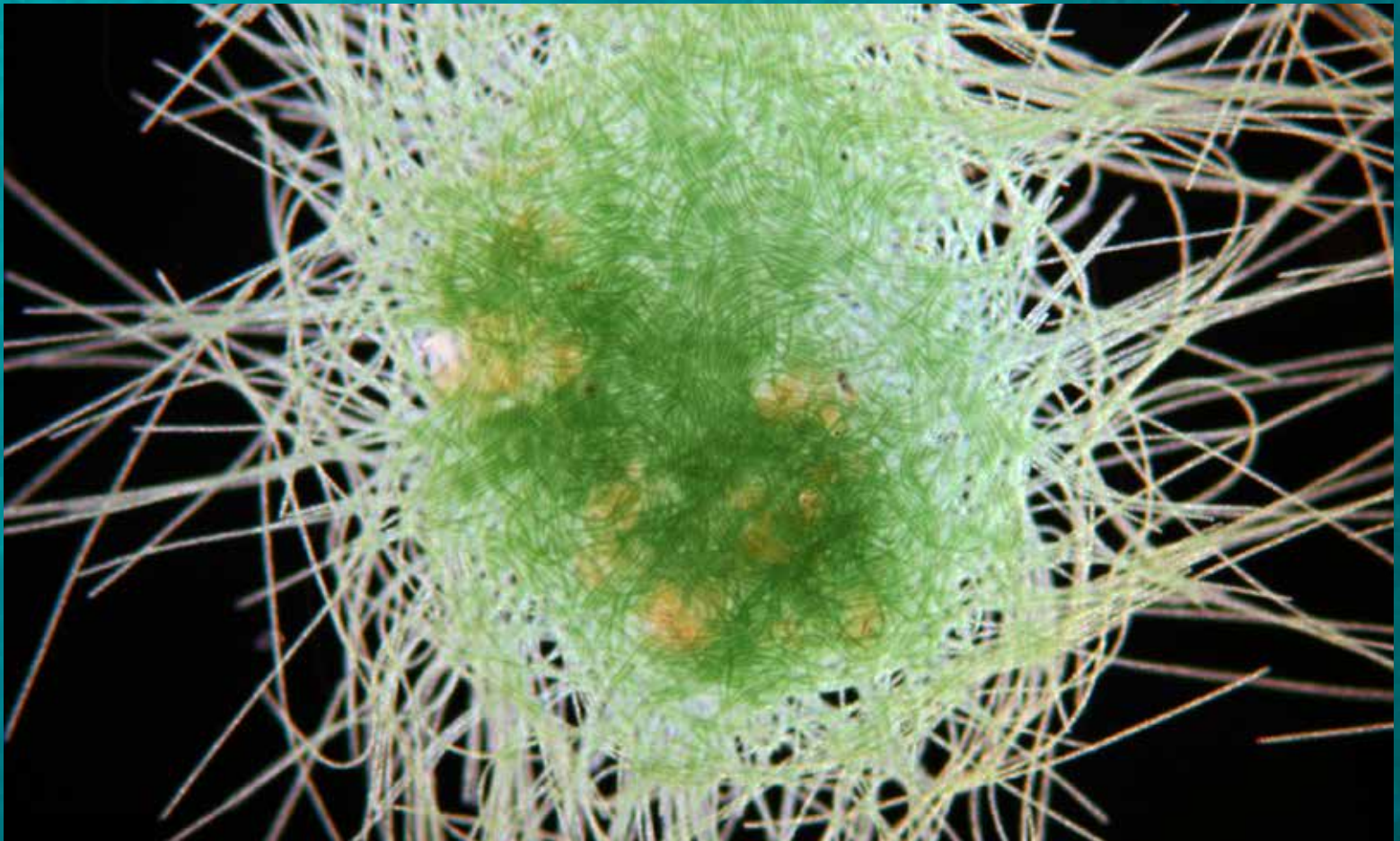


Vol. 11 Nos. 2-3 (2025)
ISSN: 2448-8100

Cymbella Revista de investigación y difusión sobre algas

Cianobacterias, sus toxinas, afectaciones y control de
florecimientos nocivos



Publicado en línea enero 2026
Sociedad Mexicana de Ficología
www.somfico.org

COMITÉ EDITORIAL

EDITOR EJECUTIVO:

Dr. Eberto Novelo

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México
enm@ciencias.unam.mx

EDITORES ADJUNTOS:

Dr. Abel Sentfies

Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México
asg@xanum.uam.mx

Dr. Juan Manuel Lopez-Bautista

Universidad de Alabama, United States of America
jlopez@biology.as.ua.edu

ASISTENTE EDITORIAL:

M. en C. Alejandra Mireles Vázquez

Fac. Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México
alemirelesv@ciencias.unam.mx

EDITORES ASOCIADOS (COMITÉ EDITORIAL TEMÁTICO)

[Florística, Taxonomía, Filogenia y sistemática, Biogeografía y distribución:](#)

Dr. Erasmo Macaya

Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, Chile
emacaya@oceanografia.udec.cl

M. en C. Gloria Garduño Solórzano

Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México
ggs@servidor.unam.mx

Dr. Luis E. Aguilar Rosas

Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California
aguilarl@uabc.edu.mx

Dr. Visitación Conforti

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Buenos Aires, Argentina
conforti@bg.fcen.uba.ar

[Biología celular y Bioquímica, Fisiología y Ecofisiología:](#)

Dr. Pilar Mateo Ortega

Departamento de Biología, Universidad Autónoma de Madrid, España
pilar.mateo@uam.es

[Algas tóxicas y FANs:](#)

Dr. Marina Aboal Sanjurjo

Facultad de Biología, Universidad de Murcia, España
maboal@um.es

Dr. Yuri Okolodkov

Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana, México
yuriokolodkov@yahoo.com

[Ecología de poblaciones y comunidades algales:](#)

Dr. Ligia Collado Vides

School of Environment, Arts and Society, Florida International University, United States of America
Ligia.ColladoVides@fiu.edu

Dr. Rosaluz Tavera

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México
r_tavera@ciencias.unam.mx

[Ficología aplicada y biotecnología:](#)

Dr. Eugenia J. Olguín Palacios

Instituto de Ecología, Centro CONACYT
eugenia.olguin@inecol.mx

Dr. Marcia G. Morales Ibarria

División de Ciencias Naturales e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana – Cuajimalpa, México
mmorales@correo.cua.uam.mx

[Nomenclatura:](#)

Dr. Francisco F. Pedroche

Depto. Ciencias Ambientales, División CBS, UAM-Lerma
fpedroche@correo.ler.uam.mx

Esta publicación es financiada totalmente por el Editor Ejecutivo. No recibe subsidios ni pagos.

CINTILLO LEGAL

Cymbella Revista de investigación y difusión sobre algas. – Vol. 11, Núms 2-3, mayo – agosto, septiembre – diciembre 2025, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, México, a través del Laboratorio de Algas Continentales, Ecología y Taxonomía de la Facultad de Ciencias, Circuito exterior s/n, Ciudad Universitaria, Col. Copilco, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, Tel. (55) 56225430, <https://cymbella.ciencias.unam.mx/>, enm@ciencias.unam.mx. Editor responsable: Dr. Eberto Novelo Maldonado. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo: 04-2016-112410454200-203. ISSN: 2448-8100. Responsable de la última actualización de este número, Laboratorio de Algas Continentales, Ecología y Taxonomía de la Facultad de Ciencias, Dr. Eberto Novelo Maldonado, Circuito exterior s/n, Ciudad Universitaria, Col. Copilco, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, fecha de la última modificación, 11 de enero de 2025.

Los artículos firmados son responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan la opinión de los Editores ni de la Sociedad Mexicana de Ficología. El material publicado puede reproducirse total o parcialmente siempre y cuando exista una autorización de los autores y se mencione la fuente completa y la dirección electrónica de la publicación.

Cianobacterias, sus toxinas, afectaciones y control de florecimientos nocivos

Cyanobacteria, their toxins, effects and control of harmful blooms

David Alexis Hernández-Ángeles^{1,2}, Alejandra Siliceo-Pacheco^{1,2}, Alejandra Torres-Ariño^{2,3*}

¹Licenciatura en Biología Marina, Universidad del Mar, campus Puerto Ángel. Ciudad Universitaria s/n, 70902, San Pedro Pochutla, Oaxaca, México.

²Instituto de Industrias, Universidad del Mar campus Puerto Ángel. Ciudad Universitaria s/n, 70902, San Pedro Pochutla, Oaxaca, México.

³Área de Biología Experimental y Microalgas de los Laboratorios de Acuicultura, Universidad del Mar, campus Puerto Ángel. Ciudad Universitaria s/n, 70902, San Pedro Pochutla, Oaxaca, México.

*Email: alejandra_torres@aulavirtual.umar.mx, cyanodarla@gmail.com

Hernández-Ángeles D.A., A. Siliceo-Pacheco y A. Torres-Ariño. 2025. Cianobacterias, sus toxinas, afectaciones y control de florecimientos nocivos. *Cymbella* 11 (2-3): 121-137.

DOI: <https://doi.org/10.22201/fc.24488100e.2025.11.2.3>

RESUMEN

Las cianobacterias son microorganismos similares a las bacterias y se diferencian por que realizan fotosíntesis oxigénica, su incremento ocurre de manera natural, pero se ha magnificado en frecuencia e intensidad por la interferencia humana a partir de fuentes puntuales (descargas municipales, agricultura, malas prácticas de acuicultura), deficientes sistemas de tratamientos de aguas y la formación de diques de ríos, lo que aumenta el tiempo de retención y exposición del agua a la luz solar y naturales con el incremento de la temperatura. Presentan estrategias ante los cambios ambientales (geoquímicos y climáticos) por lo que habitan ambientes muy diversos, donde las poblaciones pueden ser dominadas por una única especie o estar compuestas por una variedad de ellas y algunas pueden ser tóxicas. El análisis microscópico no define la toxicidad, por lo que es importante hacer otros análisis. El potencial tóxico se evalúa mediante bioensayos controlados y análisis químicos en laboratorio

donde los valores de algunas cianotoxinas, superan los 100 $\mu\text{g L}^{-1}$ o más, poniendo en riesgo la salud humana-animal por el contacto, ingesta directa e indirecta, generando impacto ambiental y económico. Es necesario desarrollar procesos de evaluación y caracterización de riesgo, desarrollo de políticas y acciones de gestión (niveles de alerta).

Palabras clave: biomanipulación, cianotoxinas, eutrofización, salud pública.

ABSTRACT

Cyanobacteria are microorganisms similar to bacteria but that carry out oxygenic photosynthesis. Their increase occurs naturally, but has been magnified in frequency and intensity by human interference from point sources (municipal discharges, agriculture, poor aquaculture practices), poor water treatment systems and the damming of rivers, which increases the retention time and exposure of water to sunlight and natural light with increasing

temperature. They have strategies to cope with environmental changes (geochemical and climatic) and therefore inhabit very varied environments, where populations can be dominated by a single species or be composed of a variety of them and some can be toxic. Microscopic analysis does not define toxicity, so it is important to perform other analyses. The toxic potential is assessed by controlled bioassays and chemical analysis in laboratories where the values of some cyanotoxins exceed 100 µg/L or more, putting human and animal health at risk through contact, direct and indirect ingestion, generating environmental and economic impact. It is necessary to develop risk assessment processes that allow the identification of the danger, the evaluation and characterization, the development of policies, and management actions (alert levels).

Key words: Biomanipulation, cyanotoxins, divulgation, eutrophication, public health.

¿QUÉ SON LAS CIANOBACTERIAS Y POR QUÉ SON IMPORTANTES?

Las cianobacterias (Cyanobacteria) o cianoprocariontes (Cyanoprokaryota), son microorganismos autótrofos pertenecientes al grupo de los procariotas quienes poseen una estructura celular simple, son aerobios capaces de realizar fotosíntesis oxigénica, es decir, emplean de manera efectiva la luz del sol para convertirla en biomasa y productos bioactivos y al final liberan parte del oxígeno que respiramos. Además, se consideran uno de los organismos más antiguos de la tierra, con un origen que se calcula en aproximadamente 3 500 millones de años (Roset *et al.* 2001). Se conocen alrededor de 6 161 especies y se estima que hay 6 280 aún por describir (Guiry & Guiry 2025; Nabout *et al.* 2013). Su capacidad adaptativa les ha permitido habitar en diferentes ambientes y algunos de ellos con condiciones extremas ya sea bajo una condición o varias a la vez (p. ej. temperaturas altas o bajas, pH ácidos o básicos, altas salinidades, entre otros). Por lo cual, también tienen la capacidad de producir una serie de moléculas bioactivas y algunas toxinas, a partir de las cuales, los investigadores se han interesado e incentivado en el estudio de estas (Torres-Ariño 2019) (Fig. 1).

Las cianobacterias representan un reto a nivel taxonómico por los escasos rasgos que se pueden observar de ellas a través de un microscopio fotónico. Aun así, se distinguen distintas organizaciones celulares desde especies unicelulares, coloniales o filamentosas (multicelularidad), además tienen

una capacidad de comunicación por señales químicas entre las células que pueden analizarse con métodos químicos de amplia resolución (Humbert & Fastner 2017). Presentan una pared celular de tipo Gram-negativa que cuenta con una capa de peptidoglucanos con un grosor que varía entre 1-10 nm (Castenholz 2015). Muchas cianobacterias, ya sean unicelulares, coloniales o filamentosas, presentan una “cobertura” que se encuentra fuera de su membrana externa y es rica en polisacáridos. Esta cobertura recibe diferentes nombres, como vaina, glicocálix o cápsula. Además, según su textura, también puede ser descrita como mucilaginosa (Castenholz 2015) (Fig. 2).

La mayoría de las cianobacterias, se reproducen a través del proceso de fisión binaria, la cual es un proceso de reproducción asexual que implica la separación del material genético de la célula y su posterior división para formar dos células exactamente iguales, aunque existen excepciones como es el caso del género *Chamaesiphon* en el que la reproducción ocurre por un proceso de división asimétrica con la posterior generación de un individuo semejante al reproductor (Castenholz 2015). Además, cuentan con estructuras especializadas que desempeñan un papel en la reproducción como son los acinetos, los hormogonios, hormocistos y “esporas” (endosporas y exosporas, que son células iguales a las progenitoras, pero más pequeñas) (Echenique & Aguilera 2009). En las cianobacterias filamentosas y después de la división celular, las células permanecen adheridas entre sí y forman una cadena conocida como tricoma, que puede estar envuelta en una vaina mucilaginosa en algunos taxones llamados filamentos (Uyeda *et al.* 2016; Vidal *et al.* 2021). Cuando los tricomas se rompen o fragmentan dentro de un filamento, se forman ramificaciones falsas, presentes en varios órdenes de cianobacterias. Sin embargo, en algunos miembros de Nostocales, la división celular se produce de forma perpendicular u oblicua en más de un plano, lo que da lugar a una ramificación verdadera (Dvořák 2017; Mehdizadeh-Allaf & Peerhossaini 2022) (Fig. 3).

Las cianobacterias son fundamentales como colonizadores iniciales ya que ayudan a añadir materia orgánica al suelo y a protegerlo de la erosión (Estrada & Menjivar 2013), sin olvidar que forman parte de la base de la red trófica (es decir, son el alimento de muchos microorganismos) debido a que son fotosintetizadores y son las que contribuyen con el oxígeno que respiran todos los organismos aerobios. Son importantes ecológicamente en los ambientes marinos ya que participan activamente en los

ciclos biogeoquímicos del agua como por ejemplo en el ciclo del nitrógeno, esto debido a la capacidad que tienen algunas cianobacterias de fijar N_2 , por presentar la enzima nitrogenasa generalmente en una célula especializada denominada heterocito (h) (Figs. 2, 3 y 4) (p. ej. *Trichodesmium* spp. *Synechococcus* sp. y *Oscillatoria* sp.) gracias a esto a menudo son los únicos habitantes de aguas con deficiencias extremas de nitrógeno y se les considera a algunas de ellas como fertilizadoras de ecosistemas marinos como las cianobacterias filamentosas *Trichodesmium erythraeum* y *T. thiebautii* (Estrada & Menjivar 2013; Fernández-Carrera 2013) (Fig. 4).

La capacidad de las cianobacterias para habitar diferentes ambientes radica en su amplia adaptabilidad y a su maquinaria metabólica a partir del cual producen diversos metabolitos bioactivos que presentan una amplia gama de estructuras químicas, de las que hasta ahora se han identificado más de 2 000 compuestos metabólicos, algunos de ellos son toxinas (Carmichael *et al.* 2001; Jones *et al.* 2021; Zamora-Barrios 2023). Dentro de la gama de metabolitos secundarios producidos por las cianobacterias, están los polisacáridos, lípidos, vitaminas, enzimas, esteroides y pigmentos como las ficobiliproteínas (p. ej. ficocianina y ficoeritrina), que presentan aplicaciones para la industria farmacéutica, cosmética, agrícola y alimentaria. Algunos compuestos presentan diversas actividades biológicas, incluyendo efectos anticancerígenos, antioxidantes, antimicrobianos y disruptores endocrinos, por lo que en los últimos años se ha centrado la atención en la recolección y producción de biomasa para la explotación de estos metabolitos (Priyadarshani & Rath 2012) (Fig. 4).

Las cianobacterias son un grupo con gran diversidad de especies las cuales presentan distintas características y rasgos morfológicos. Muchos de estos rasgos y características les brindan a las cianobacterias una ventaja competitiva frente al fitoplancton eucariota, lo que suele favorecer su predominio y facilita la formación de florecimientos algales nocivos (FAN) de cianobacterias, es decir una proliferación o incremento exponencial en el número de células (Huisman *et al.* 2018). Aunque los FAN de cianobacterias han sido descritos desde hace mucho tiempo, diversos estudios sugieren que en la actualidad están en un aumento a nivel mundial (Huisman *et al.* 2018). Factores ambientales previamente estudiados como la eutrofización por descargas de efluentes de diversas industrias (agropecuarias, industriales y urbanos), el aumento de los niveles de CO_2 y el calentamiento global, baja turbulencia de las aguas o bien tiempos de

retención prolongados, todo en conjunto, probablemente aumenten la frecuencia, la intensidad y la duración de las floraciones de cianobacterias en diversos ecosistemas acuáticos alrededor del mundo (Huisman *et al.* 2018) y si bien algunos de estos factores son producidos por condiciones naturales (p. ej. huracanes, surgencias, etc.), la gran mayoría es provocada por acciones del humano.

Se ha observado que la eutrofización (el incremento de nutrientes en los cuerpos de agua) es más usual en lagos, ríos y reservorios, esto es un síntoma común en agua dulce con bajos requerimientos de nutrientes (Cobo 2015). Además, ya se está presentando en los sistemas costeros quienes también reciben las aguas de desecho producidas en las ciudades, las industrias y las actividades agrícolas de las zonas altas y de los asentamientos costeros. Las FAN pueden causar consecuencias en la calidad del agua relacionadas con una carga alta de fósforo y nitrógeno, mal olor y generar ambientes de hipoxia o deficiencia de oxígeno lo que llevará a la muerte de los organismos que habitan en este lugar donde se presenten estos FAN. También habrá consecuencias debido a que algunos de estos organismos generan toxinas, lo cual ocasionará daños en animales silvestres, ganado, mascotas e inclusive en los humanos (Kang *et al.* 2022), causando, además, pérdidas económicas a nivel industrial y turístico (Dodds *et al.* 2009) (Fig. 5).

CIANOACTERIAS Y SUS TOXINAS: ¿QUÉ CONSECUENCIAS PRODUCEN?

Entre los miles de metabolitos bioactivos que las cianobacterias producen se encuentran las cianotoxinas que son metabolitos secundarios, y hay que aclarar que no todos los metabolitos secundarios son toxinas, aunque pueden causar daños a aves, peces, zooplancton, protozoos, bacterias y causar intoxicación aguda grave en mamíferos (incluido el humano) afectando distintos sistemas/aparatos como el hepatopancreático, digestivo, endocrino, dérmico y nervioso, por lo que se han convertido en un tema de salud pública (Yadav *et al.* 2011; Zamora-Barrios 2023).

Las cianotoxinas se pueden clasificar en dos tipos: las citotoxinas y las biotoxinas (Zamora-Barrios 2023); así mismo estas toxinas se pueden categorizar por el efecto que ejercen sobre algún órgano o tejido y pueden ser (Figura 6):

1. Citotoxinas cuyo efecto es a nivel de células,
2. Neurotoxinas que actúan en la transmisión del impulso nervioso. Existen diversas variantes químicas, las más importantes son: anatoxi-

na-a, homoanatoxina-a, anatoxina-a (s), n-éster de fosfato de metilo hidroxiguanidina, afanotoxinas I y II (saxitoxina y neosaxitoxina) y la b-N-metilamino-L-alanina (BMAA),

3. Hepatotoxinas cuyo efecto es en el hígado y ocasionan el tipo más común de intoxicación relacionado con las cianobacterias de las cuales se conocen más de 80 tipos químicos de microcistinas (MC).
4. Dermatotoxinas cuyo efecto es en piel, se encuentran entre las toxinas menos estudiadas, sus efectos se han visto sobre todo asociados a cianobacterias marinas y se conoce muy poco sobre cómo actúan, no son letales para los organismos, pero provocan irritación en la piel por contacto (Lucena 2008). Tienen efectos inflamatorios y se ha observado que son potentes promotores de tumores relacionados con la proteína quinasa C (Estrada & Menjivar 2013; Roset *et al.* 2001).

El hecho es que diferentes especies de cianobacterias en entornos acuáticos tienen la capacidad de producir toxinas potentes; no obstante, dentro de una misma especie, pueden encontrarse cepas productoras y no productoras de toxinas e inclusive especies que pueden producir más de una toxina (Pearl & Otten 2013; Roset *et al.* 2001), de ahí que es importante hacer la determinación de estas, mediante el aislamiento y así poder detectar, cuantificar y purificar las toxinas (Cuadro 1).

En el Cuadro 1, se mencionan algunos ejemplos de especies que han formado FAN y sus toxinas, el lugar y año y la densidad celular, la cual varía mucho entre las especies y el sitio en donde se han presentado. La mayoría de los registros se enfocan en las costas de México (península de Baja California, el Golfo de California, el Pacífico Oriental, Golfo de México y el Caribe Mexicano), mientras que los estudios de FAN en aguas continentales e interiores se han registrado en lagos de la Ciudad de México: Chapultepec, Xochimilco, Tezomoc, Alameda Oriente, Cuemanco y Tlamelaca; y en sus alrededores como el Estado de México: Reservorios de Valle de Bravo e Ignacio Ramírez, Sistema Lerma-Chapala, Zumpango, Laguna Atotonilco y Ciénega Chica (García-Mendoza *et al.* 2016). Además de otros lugares en varios estados de la República Mexicana como Lago de Pátzcuaro en Michoacán, Akumal y Cenote Uxuxubi en Quintana Roo (Cantoral-Uriza *et al.* 2017, Hernández-Terrones *et al.* 2016; Pérez-Morales *et al.* 2016) y en León, Guanajuato (Valdés-Santiago *et al.* 2023).

Para poder estudiar sus efectos, existen muchos métodos para su detección, clasificados en biológi-

cos y fisicoquímicos. Dentro de los primeros, están los bioensayos con ratones, los bioensayos con organismos acuáticos (*Artemia* y *Daphnia*, algunos peces y anfibios), otros alternativos (hepatocitos de rata y los fibroblastos de hámster), ensayos enzimáticos, como la inhibición de la enzima fosfatasa e inmunológicos, donde se emplean anticuerpos monoclonales con pruebas de ELISA para microcistinas; además, las aproximaciones genéticas (p. ej. secuencias de rARN y ADN, análisis cuantitativo de la PCR) han contribuido mucho en su detección, cada una de las técnicas tiene ventajas y desventajas o limitaciones, pero han servido para identificar el efecto, diferenciar a nivel de género las cepas tóxicas de diferentes poblaciones, conocer los genes involucrados en la biosíntesis de las toxinas, entre otras más (Chen *et al.* 2012; Sipari *et al.* 2010)

Por su parte, entre los métodos fisicoquímicos destacan la detección de microcistinas con el análisis de HPLC (Cromatografía Líquida de alta eficacia) que sirve para hacer la separación a 238 nm de luz UV (Pérez & Aga 2005) y la cromatografía de gases (CG) que se ha empleado para determinar a estas microcistinas (Gilroy *et al.* 2000).

Al momento ya se conocen muchas especies con potencial en la producción de toxinas y con el avance de la tecnología se ha logrado conocer y caracterizar el efecto, tipo y cantidad de toxina, así como identificar a las especies potenciales formadoras de proliferaciones y productoras de toxinas. Se considera que, desde un punto de vista ecológico, la producción de toxinas en las cianobacterias parece ser un mecanismo efectivo en la disminución de la herbivoría por el zooplancton, ya que les resta la apetencia por la toxicidad acumulada en las células (Cantoral-Uriza *et al.* 2017; Lucena 2008).

¿CÓMO SE CONTROLAN? UN VISTAZO A LOS AVANCES EN LOS MÉTODOS DE CONTROL

Como se ha mencionado anteriormente, las FAN de cianobacterias son las más estudiadas y conocidas porque estos organismos pueden producir metabolitos bioactivos (cianotoxinas) que constituyen un serio problema ambiental con graves repercusiones sobre la salud humana y animal, de ahí la necesidad de contar con métodos o estrategias que ayuden a minimizar la aparición, establecimiento, proliferación de las cianobacterias. Existen distintos métodos de control, los cuales podemos clasificar en cuatro tipos; los métodos por control de nutrientes, control biológico, químico y mecánico, cada uno presenta ventajas y desventajas en su uso y por consiguiente en su efectividad (Cobo 2015) (Fig. 7).

CONTROL DE NUTRIENTES

Una de las mejores estrategias para la limitación de los FAN es la disminución de nutrientes en el cuerpo de agua. Por lo cual se han investigado y aplicado distintos métodos (p. ej. dragado, uso de floculantes, filtrado de aguas superficiales, agitación masiva, entre otros) para reducir la carga de fósforo interna y de otros nutrientes para poder mitigar las floraciones de cianobacterias. Sin embargo, algunos pueden causar afectaciones al ecosistema y su valor de uso es alto (Cobo 2015; Cooke *et al.* 2005; McComas & Stuckert 2011).

CONTROL BIOLÓGICO

El control biológico se basa en utilizar otros organismos vivos (p. ej. agentes virales, bacterianos, hongos, protozoos, macrofitas o material vegetal) que sirvan como competencia de nutrientes en el ambiente donde existe el FAN, este método es considerado una alternativa respetuosa y sustentable con el ambiente en comparación de los métodos físicos y químicos (Shao *et al.* 2013), aunque la mayoría de los estudios se han desarrollado a nivel laboratorio y no hay aplicaciones directas exitosas en el campo, ya que el cultivo a gran escala de muchos de estos organismos es problemático (Cobo 2015).

CONTROL QUÍMICO

Los métodos químicos (Fig. 7) para el control de las FAN son los más utilizados por su bajo costo y por la rapidez con la que actúan, se utilizan para reducir las FAN de cianobacterias directamente mediante la inhibición del crecimiento o la disminución de la concentración de nutrientes. Sin embargo, muchas veces presentan desventajas ecológicas puesto que los compuestos pueden ser también tóxicos (p. ej. sulfato de cobre o quinonas) para especies que no son el objetivo y llegan a acumularse en el ambiente, provocar cambios en el pH del agua e incluso liberar toxinas después de su liberación en el FAN. Recientemente se ha trabajado en la implementación de compuestos y moléculas naturales (p. ej. peróxido de hidrógeno en disolución o en su forma sólida) que causan estrés oxidativo a través de la producción de especies reactivas de oxígeno, aunque aún es poco usual debido a los altos costos, comparado con los químicos ya comercializados y no hay información sobre la liberación de toxinas después del tratamiento (Jančula & Maršálek 2011; Vargas *et al.* 2016).

CONTROL MECÁNICO

Estos métodos abarcan tanto la eliminación directa de las cianobacterias como la regulación de su

crecimiento mediante la disminución de la luz o la lisis celular a través de procesos físicos (Fig. 7), por ejemplo, aireación, ultrasonido, desecación (Cobo 2015). Un ejemplo de los métodos mecánicos es el del ultrasonido, en el cual se emplea un equipo de irradiación por ultrasonido a frecuencias que descompondrá la estructura interna de las cianobacterias al romper los aerotopos que funcionan como sistemas de flotación. Este método es efectivo en pequeños estanques o tajamares, no requiere el uso de productos químicos y generalmente es económico. Su ventaja radica en que no se produce lisis celular, por lo que no se aumenta la liberación de microcistinas, aunque las vesículas se regeneran poco tiempo después del cese del ultrasonido. Falta información sobre sus efectos en otros organismos y en los ecosistemas acuáticos. De ahí que su eficacia varía según la forma del cuerpo de agua y las especies de cianobacterias presentes y del tipo de toxinas que produzcan (Cobo 2015; Miguez 2016).

CONSIDERACIONES FINALES

El estudio de las cianobacterias revela una dualidad en su presencia y dos caras opuestas.

Recientemente, los FAN han aumentado debido a los cambios ambientales que se han acelerado especialmente por causas de origen antropogénico y aunque se han realizado abundantes estudios con cianobacterias y toxinas, su dificultad radica en la complejidad para identificarlas taxonómicamente y molecularmente, así como los cambios en sus clasificaciones.

Sin embargo, no todo es negativo con estos microorganismos, ya que pueden extraerse sus componentes para beneficio de diversas industrias (acuícola, biotecnológica, en especial en la cosmología y algunos suplementos alimenticios). Por lo tanto, visibilizar a las cianobacterias es fundamental para fomentar más investigaciones sobre ellas, lo que permitirá un mejor manejo y aprovechamiento, evitando problemas en los ecosistemas acuáticos y generando beneficios para las personas.

Es crucial prestar atención a las cianobacterias en el contexto de los florecimientos algales nocivos, ya que su estudio y manejo adecuado pueden prevenir problemas de salud y económicos. Al visibilizar su importancia, se promoverán investigaciones que no solo ayudarán a controlar sus efectos adversos, sino que también permitirán aprovechar sus beneficios, contribuyendo así a la salud de los ecosistemas acuáticos y al bienestar de la sociedad. Al momento y en relación con actividades recreacionales en agua, no existe una legislación, por lo que la Organización Mundial de la Salud (OMS)

sugiere prohibir el acceso a sitios de recreo para evitar el contacto directo con las cianobacterias, cuando se tengan más de 20 000 células mL⁻¹ en el agua (Quesada *et al.* 2006). Es importante contar con guías para el manejo de riesgo que ayuden a tomar las medidas preventivas que eviten intoxicaciones por contacto o ingesta, pero sobretodo es una necesidad la implementación de políticas ambientales y en materia de salud pública que atiendan dicha problemática, en conjunto con sistemas de monitoreo continuo.

Es fundamental prevenir el incremento o proliferación de las cianobacterias en los reservorios acuáticos, por lo que es necesario realizar buenas prácticas de manejo y una cultura del agua, donde se realicen tratamientos previos para minimizar la carga excesiva de nutrientes y otros componentes que promuevan el crecimiento masivo.

El apoyo a la investigación básica es fundamental para conocer la composición de especies, los datos ambientales, las concentraciones de nitrógeno y fósforo y sus proporciones (N:P), para entender la estructura y funcionamiento, la sistemática y ecología de las cianobacterias de cada región y sistema, que deriven en aplicaciones técnicas y mejoren la gestión del agua a través de planes de manejo integrales.

REFERENCIAS

- Aké-Castillo, J.A., Y.B. Okolodkov, C.F. Rodríguez-Gómez, & G. Campos-Bautista. 2014. Florecimientos algales nocivos en Veracruz: especies y posibles causas (2002-2012). *In: A.V. Botello., J. Rendón von Osten., J.A. Benítez & G. Gold-Bouchot.* Eds. Golfo de México. *Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias.* UAC, UNAM-ICMYL, CINVESTAV-Unidad Mérida, pp. 133-146.
- Alonso-Rodríguez, R. & F. Páez-Osuna. 2003. Nutrients, phytoplankton and harmful algal blooms in shrimp ponds: a review with special reference to the situation in the Gulf of California. *Aquaculture* 219: 317-336. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00509-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00509-4)
- Cantoral-Uriza, E.A., A.D. Asencio-Martínez, & M. Aboal-Sanjurjo. 2017. Cianotoxinas: efectos ambientales y sanitarios. Medidas de prevención. *Hidrobiológica* 27: 241-251. DOI: <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcibi/hidro/2017v27n2/Cantoral>
- Carmichael, W.W., S.M. Azevedo, J.S. An, R.J. Molica, E.M. Jochimsen, S. Lau, & G.K. Eaglesham. 2001. Human fatalities from cyanobacteria: chemical and biological evidence for cyanotoxins. *Environmental Health Perspectives* 109: 663-668. DOI: <https://doi.org/10.1289/ehp.01109663>
- Castenholz, R.W. 2015. General characteristics of the Cyanobacteria. *In: D.H. Bergey., F.C. Harrison., R.S. Breed., B.W. Hammer & F.M. Huntoon.* Eds. *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*, pp. 1-23.
- Chen, K., M. Liu, G. Zhao, H. Shi, L. Fan, & S. Zhao. 2012. Fabrication of a novel and simple microcystin-LR photoelectrochemical sensor with high sensitivity and selectivity. *Environmental Science & Technology* 46: 11955-11961. <http://doi.org/10.1021/es302327w>
- Cobo, F. 2015. Métodos de control de las floraciones de cianobacterias en aguas continentales. *Limnetica* 34: 247-268. <https://doi.org/10.23818/limn.34.20>
- Cooke, G.D., E.B. Welch, S.A. Peterson, & S.A. Nichols. 2005. *Restoration and management of Lakes and Reservoirs.* 3rd edition. Taylor and Francis, Boca Raton.
- Cortés-Lara, M., A.L. Cupul-Magaña, & A.M. Cupul-Velázquez. 2022. Fitoplancton marino de Bahía de Banderas con una revisión de los florecimientos algales nocivos en la región. *In: A. Pérez Morales., M.A. Galicia Pérez & A. Olivos Ortiz.* Eds. *Estudios marinos y pesqueros en el Pacífico mexicano.* Universidad de Colima, Colima. pp. 9-30.
- Dalinger, F.S.A., B.C. Nidia, V.L. Lozano, L.B. Moraña, & M.M. Salusso. 2024. Bloom-forming cyanobacteria and dinoflagellates in five Argentinian reservoirs: Multi-year sampling. *Water Biology and Security* 3: 100232. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watbs.2023.100232>
- Dodds, W.K., W.W. Bouska, J.L. Eitzmann, T.J. Pilger, K.L. Pitts, A.J. Riley, J.T. Schloesser, & D.J. Thornbrugh. 2009. Eutrophication of U. S. freshwaters: Analysis of potential economic damages. *Environmental Science and Technology* 43: 12-19. <https://doi.org/10.1021/es801217q>
- Dvořák, P., D.A. Casamatta, P. Hašler, E. Jahodářová, A.R. Norwich, & A. Poulíčková. 2017. Diversity of the cyanobacteria. *In: P.C. Hallenbeck.* Ed. *Modern topics in the phototrophic prokaryotes: Environmental and applied aspects.* Springer International Publishing, Switzerland. pp. 3-46. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-46261-5>
- Echenique, R.O & A. Aguilera. 2009. Cianobacteria tóxicas. Aspectos generales para su identificación taxonómica. *In: L. Giannuzzi.* Ed. *Cianobacterias y cianotoxinas: Identificación Toxicología, Monitoreo y Evaluación de Riesgo.* Moglia Ediciones, Buenos Aires. pp. 37-51.
- Estrada, R.M.H. & R.F. Menjivar. 2013. Rol ecológico de las cianobacterias y su presencia en los ríos Torola, Titihuapa y Jiboa de El Salvador. *Bioma* 1: 5-19.
- Fernández-Carrera, A. 2013. Trichodesmium spp. y fijación de N₂ en el océano Atlántico tropical y subtropical. Tesis de Doctorado, Universidad de Vigo, España. 170 p.
- Freer, E. & M. Vargas-Montero. 2003. Floraciones algales nocivas en la costa pacífica de Costa Rica: toxicología y sus efectos en el ecosistema y salud pública. *Acta Médica Costarricense* 45: 158-164.

- Gárate-Lizárraga, I., Y.B. Okolodkov, & R. Cortés-Altamirano. 2016. Microalgas formadoras de florecimientos algales en el Golfo de California. *In: García-Mendoza, E., S.I. Quijano-Scheggia, A. Olivos-Ortiz & E.J. Núñez-Vázquez. Eds. Florecimientos algales nocivos en México.* CICESE, Ensenada. pp. 130-145.
- García-Mendoza, E., S.I. Quijano-Scheggia, A. Olivos Ortiz & E.J. Núñez-Vázquez. 2016. *Florecimientos algales nocivos en México.* CICESE, Ensenada.
- Gilroy, D.J., K.W. Kauffman, R.A. Hall, X. Huang, & F.S. Chu. 2000. Assessing potencial health risks from microcystin toxins in blue-green algae dietary supplements. *Environmental Health Perspectives* 108: 435-439. <https://doi.org/10.1289/ehp.00108435>
- Hernández-Terrones, L.M., V.M. Nava-Ruiz, S. Escobar-Morales & D. Ortega-Camacho. 2016. Florecimientos algales de cianobacterias en un cenote de Quintana Roo y su relación con la calidad el agua. *In: García-Mendoza, E., S.I. Quijano-Scheggia, A. Olivos-Ortiz & E.J. Núñez-Vázquez. Eds. Florecimientos Algales Nocivos en México.* CICESE, Ensenada. pp 422-432.
- Huisman, J., G.A. Codd, H.W. Paerl, B.W. Ibelings, J.M.H. Verspagen, & P.M. Visser. 2018. Cyanobacterial blooms. *Nature Reviews Microbiology* 16: 471-483. <https://doi.org/10.1038/s41579-018-0040-1>
- Humbert, J.F. & J. Fastner. 2017. Ecology of cyanobacteria. *In: J. Meriluoto., L. Spoof & G.A. Codd. Eds. Handbook of Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxin Analysis.* John Wiley & Sons, Ltd., Chichester. pp. 11-18.
- Jančula, D. & B. Maršálek. 2011. Critical review of actually available chemical compounds for prevention and management of cyanobacterial blooms. *Chemosphere* 85: 1415-1422. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2011.08.036
- Jones, M.R., E. Pinto., M.A. Torres., F. Dörr., H. Mazur-Marzec., K. Szubert, & E.M.L Janssen. 2021. CyanoMetDB, a comprehensive public database of secondary metabolites from cyanobacteria. *Water Research* 196: 117017. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117017>
- Kang, L., M. Mucci, & M. Lurling. 2022. Compounds to mitigate cyanobacterial blooms affect growth and toxicity of *Microcystis aeruginosa*. *Harmful Algae* 118: 102311. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2022.102311>
- Lucena, E. 2008. Aspectos sanitarios de las cianotoxinas. *Higiene y Sanidad Ambiental* 8: 291-302. Accesible en: [https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc51018a4f6ac40_Hig.Sanid_Ambient.8.291-302\(2008\).pdf](https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc51018a4f6ac40_Hig.Sanid_Ambient.8.291-302(2008).pdf)
- McComas, S. & J. Stuckert. 2011. Water quality, aquatic plants, and fish conditions in ponds in Bloomington, Minnesota in 2010. St. Paul, Minnesota. City of Bloomington. Accesible en: <https://www.bloomingtonmn.gov/sites/default/files/fnlrprt26pnd.pdf>
- Miguez, D, 2016. Tecnologías de control de floraciones de cianobacterias y algas nocivas en cuerpos de agua, con énfasis en el uso de irradiación por ultrasonido. *INNOTEC* 12: 54-61.
- Mehdzadeh-Allaf, M., & H. Peerhossaini. 2022. Cyanobacteria: Model Microorganisms and Beyond. *Microorganisms* 10: 696. 10.3390/microorganisms10040696
- Nabout, J.C., B. da Silva, F. Melo, & C.L. Sant' Anna. 2013. How many species of Cyanobacteria are there? Using a discovery curve to predict the species number. *Biodiversity and Conservation* 22: 2907-2918. <https://doi.org/10.1007/s10531-013-0561-x>
- Narayana, S., J. Chitra., S.R. Tapase., V. Thamke., P. Karthick., C. Ramesh, & R. Mohanraju. 2014. Toxicity studies of *Trichodesmium erythraeum* (Ehrenberg, 1830) bloom extracts, from Phoenix Bay, Port Blair, Andamans. *Harmful Algae* 40: 34-39. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2014.10.003>
- Palacio, M.C.R., C.L. Ramírez., M.M. Hernández, & R.B.E. Cabrera-Cruz. 2022 Eutrofización y florecimientos algales nocivos (FAN). Caso de estudio: laguna del Carpintero, Tampico, Tamaulipas, México. *In: R. Pichardo Ramírez., J. Treviño Trujillo & J.C. Rolón Aguilar. Eds. Tópicos selectos de ingeniería y ciencias ambientales.* Universidad Autónoma de Tamaulipas, Ciudad Victoria. pp. 43-58. <https://doi.org/10.29059/LUAT.312>
- Pearl, H.W. & T.G. Otten. 2013. Harmful cyanobacterial blooms: Causes, Consequences, and controls. *Microbial Ecology* 65: 995-1010. <https://doi.org/10.1007/s00248-012-0159-y>
- Pérez, S. & D.S. Aga. 2005. Recent advances in the sample preparation liquid chromatography tandem mass spectrometric analysis and environmental fate of microcystins in water. *Trends in Analytical Chemistry* 24: 658-670. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2005.04.005>
- Pérez-Morales, A., A. Olivos-Ortiz, S.I. Quijano-Scheggia, C.A. Espinosa-Rodríguez & M.A. Jiménez-Santos. 2016. Estado actual del estudio de cianobacterias dulceacuículas formadoras de florecimientos en el centro de México. *In: E. García-Mendoza, S. I. Quijano-Scheggia, A. Olivos-Ortiz & E. J. Núñez-Vázquez. Eds. Florecimientos Algales Nocivos en México.* CICESE, Ensenada. pp 408-421.
- Poot-Delgado, C.A.P. 2016. Florecimientos algales nocivos en las costas de Campeche, Golfo de México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* 68: 91-96. <https://doi.org/10.33064/iycaaa2016682264>
- Poot-Delgado, C.A.P., Y.B. Okolodkov., J.A.A. Castillo, & J.R. Von Osten, J. 2015. Fitoplancton potencialmente nocivo en el muelle la Puntilla, Laguna de Términos, sureste del Golfo de México. *Biocyt: Biología, Ciencia y Tecnología* 8: 570-582.
- Poot-Delgado, C.A. & Y.A. Guzmán-Noz. 2009. Composición y abundancia del fitoplancton marino, con énfasis en las especies potencialmente tóxicas y/o nocivas,

- en la Bahía de Campeche, México. *Resúmenes III Taller sobre Florecimientos Algales Nocivos, Acapulco*. 38 pp.
- Poot-Delgado, C.A. & P. Rosado-García. 2013. Fitoplancton marino potencialmente nocivo en las aguas costeras de Champotón, Campeche. *Memorias del XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar, Los Cabos, México*.
- Poot-Delgado, C. A., Y. B. Okolodkov, J. A. Aké-Castillo, & J. Rendón von Osten. 2018. Potentially harmful cyanobacteria in oyster banks of Términos lagoon, southeastern Gulf of Mexico. *Acta Biológica Colombiana* 23: 51–58. <https://doi.org/10.15446/abc.v23n1.65809>
- Priyadarshani, I. & B. Rath. 2012. Bioactive compounds from microalgae and cyanobacteria: utility and applications. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research* 3: 4123.
- Proença, L.A.O., M.S. Tamanaha, & R.S. Fonseca. 2009. Screening the toxicity and toxin content of blooms of the cyanobacterium *Trichodesmium erythraeum* (Ehrenberg) in northeast Brasil. *Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases* 15: 204-215. <https://doi.org/10.1590/S1678-91992009000200004>
- Quesada, A., D. Carrasco & S. Cirés. 2006. Cianobacterias en aguas de consumo y recreo: un problema de todos. *Madrid: Universidad Autónoma de Madrid*. 10 pp.
- Roset, J., Aguayo, S. Aguayo, & M.J. Muñoz. 2001. Detección de cianobacterias y sus toxinas. Una revisión. *Revista de Toxicología* 18: 65-71.
- Shaika, N.A., E. Alhomaiddi., M.M. Sarker., A. An Nur., M.A. Sadat., S. Awal., G. Mostafa., S.J. Hasan., Y. Mahmud, & S. Khan. 2023. Winter bloom of marine cyanobacterium, *Trichodesmium erythraeum* and its relation to environmental factors. *Sustainability* 15: 1311. <https://doi.org/10.3390/su15021311>
- Shao, J., R. Li., J.E. Lepo, & J.D. Gu. 2013. Potential for control of harmful cyanobacterial blooms using biologically derived substances: Problems and prospects. *Journal of Environmental Management* 125: 149-155.
- Sipari, H., A. Rantala-Ylinen, J. Jokela, I. Oksanen, & K. Sivonen. 2010. Development of a chip assay and quantitative PCR for detecting microcystin synthetase e gene expression. *Applied and Environmental Microbiology* 76: 3797-3805. <https://doi.org/10.1128/AEM.00452-10>
- Spatharis, S., N. Skliris., A. Meziti, & K.A. Kormas. 2012. First record of a *Trichodesmium erythraeum* bloom in the Mediterranean Sea. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 69: 1444-1455. <https://doi.org/10.1139/f2012-020>
- Steffen, M.M., B.S. Belisle., S.B. Watson., G.L. Boyer, & S.W. Wilhelm. 2014. Status, causes and controls of cyanobacterial blooms in Lake Erie. *Journal of Great Lakes Research* 40: 215-225. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2013.12.012>
- Torres-Ariño, A. 2019. Manual de técnicas básicas para el estudio de cianobacterias y microalgas. *Curso Biotecnología de cianobacterias y microalgas: aislamiento, cultivo y aplicación*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas y Universidad del Mar, campus Puerto Ángel. Monterrey, Nuevo León, México.
- Uyeda, J.C., L.J. Harmon, & C.E. Blank. 2016. A comprehensive study of cyanobacterial morphological and ecological evolutionary dynamics through deep geologic time. *PLoS ONE* 11: e0162539. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162539>
- Valdés-Santiago, L., J.N. García-Chávez & J.L. Castro-Guillén. 2023. Caracterización de las comunidades microbianas asociadas a un florecimiento cianoalgal en una presa de León, Gto. México mediante secuenciación de regiones variables de los genes que codifican la rARN 16S y 18S. *Hidrobiológica* 31(1): 93-105. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2021v31n1/Valdes>
- Vargas, E.C., K.B. Artavia, & J.B. Abarca. 2016. Floraciones algales nocivas durante el periodo 2008-2010 en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista Ciencias Marinas y Costeras* 8: 129-149. <https://doi.org/10.15359/revmar.8-1.9>
- Vidal, L., A. Ballot., S.M.F.O. Azevedo., J. Padisák & M. Welker. 2021. Introduction to cyanobacteria. In: I. Chorus, & M. Welker. (eds.). *Toxic Cyanobacteria in Water*. 2nd ed. CRC Press; Boca Raton. pp. 163-211.
- Yadav, S., R.P. Sinha., M.B. Tyagi, & A. Kumar. 2011. Cyanobacterial secondary metabolites. *International Journal of Pharmacy and Biological Sciences* 2: 144-167. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75648>
- Zamora-Barrios, C.A. 2023. Revisión de cianobacterias potencialmente nocivas. *Tecnología y Ciencias en el agua* 14: 250-313. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-14-03-06>

Sometido: 21 de abril de 2025

Revisado: 27 de mayo de 2025

Corregido: 28 de agosto de 2025

Aceptado: 18 de septiembre de 2025

Cuadro 1. Ejemplos de algunos registros de Florecimientos Algales Nocivos (FAN) de cianobacterias en México y otras partes del mundo

Especie	Toxinas	Lugar	Fecha	Densidad cel L ⁻¹	Referencia
<i>Dolichospermum flos-aquae</i>	Anatoxina-a (s) LPS (lipopolisacáridos)	Laguna Mandinga, Veracruz	sep-06	-	Aké-Castillo <i>et al.</i> 2014
Anabaena sp.	Anatoxina-a LPS	Muelle Puntilla Laguna de Términos	2012- 2013	438,000	Poot-Delgado <i>et al.</i> 2015
Anabaena sp.	Anatoxina-a LPS	Laguna de Términos	may-13	660,000	Poot-Delgado <i>et al.</i> 2015
Anabaena sp.	Anatoxina-a LPS	Laguna de Términos (Bancos ostrícolas)	2012	-	Poot-Delgado <i>et al.</i> 2014
Anabaena sp.	Anatoxina-a LPS	Litoral de Champotón	2010	100,000	Poot-Delgado & Rosado García 2013
Anabaena sp.	Anatoxina-a LPS	Bahía de Campeche	2007	323,000	Poot Delgado & Guzmán-Noz 2009
<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	Anatoxina-a LPS	Embalse Itiyuro,	2020	-	Dalinger <i>et al.</i> 2024
<i>Raphidiopsis cuspis</i>	Cilindrospermopsina LPS	Muelle Puntilla Laguna de Términos	2012- 2013	330,000	Poot-Delgado <i>et al.</i> 2015
<i>Cylindrospermopsis cuspis</i>	Cilindrospermopsina LPS	Laguna de Términos (Bancos ostrícolas)	2012	-	Poot-Delgado <i>et al.</i> 2014
<i>Leptolyngbya</i> sp.	Microcistinas LPS	Embalse Campo Alegre, Argentina	2021	-	Dalinger <i>et al.</i> 2024
<i>Lyngbya majuscula</i>	Saxitoxinas LPS	Golfo de California	2016	-	Gárate-Lizárraga 2016
<i>Merismopedia</i> sp.		Laguna de Términos (Bancos ostrícolas)	2012	-	Poot-Delgado <i>et al.</i> 2014
<i>Microcystis aeruginosa</i>	Beta-metilamino-L alanina	Lago Erie	2013	-	Steffen <i>et al.</i> 2014
	Microcistinas LPS				
<i>Microcystis aeruginosa</i>	Beta-metilamino-L alanina	Laguna del Carpintero, Tamaulipas	2015	616 556 hasta más de 1 000 000	Palacio <i>et al.</i> 2022
	Microcistinas LPS				
<i>Oscillatoria</i> sp.	Cilindrospermopsina	Laguna de Términos (Bancos ostrícolas)	2012	-	Poot-Delgado <i>et al.</i> 2014
	Anatoxina-a LPS				
<i>Oscillatoria</i> sp.	Cilindrospermopsina	Litoral de Champotón	2010	100 000	Poot-Delgado & Rosado-García 2013
	Anatoxina-a LPS				
<i>Raphidiopsis mediterranea</i>	Cilindrospermopsina LPS	Embalse El Limón, Argentina	2020	-	Dalinger <i>et al.</i> 2024

Especie	Toxinas	Lugar	Fecha	Densidad cel L ⁻¹	Referencia
<i>Richelia intracellularis</i>	-	Costas del estado de Guerrero	2006	-	Gárate-Lizárraga 2016
<i>Schizothrix calcicola</i>	-	Estanques de camarón, Sinaloa	2003	140 x 10 ⁶	Alonso-Rodríguez 2003
<i>Trichodesmium erythraeum</i>	Anatoxina-a Microcistinas Saxitoxinas LPS	Golfo de Nicoya, Puntarenas, Costa Rica	2010	61 640	Vargas <i>et al.</i> 2016
<i>Trichodesmium erythraeum</i>	Cilindrospermopsina	Malecón de Campeche	2010	36 000	Poot-Delgado 2016
	Anatoxina-a LPS				
<i>Trichodesmium erythraeum</i>	Anatoxina-a Microcistinas Saxitoxinas LPS	Golfo de California	2016	-	Gárate-Lizárraga
<i>Trichodesmium erythraeum</i>	Anatoxina-a Microcistinas Saxitoxinas LPS	Isla de Lesbos, Mediterráneo	2012	-	Spatharis <i>et al.</i> 2012
<i>Trichodesmium erythraeum</i>	Anatoxina-a Microcistinas Saxitoxinas LPS	Puerto Caldera, Costa Rica	2002	-	Freer & Vargas 2003
<i>Trichodesmium erythraeum</i>	Anatoxina-a Microcistinas Saxitoxinas LPS	Costa de Andamán, Tailandia	2013	14.56 x 10 ⁶	Narayana <i>et al.</i> 2014
<i>Trichodesmium erythraeum</i>	Anatoxina-a Microcistinas Saxitoxinas LPS	Bahía Banderas, Jalisco	-	1 658 x 10 ⁶	Cortés-Lara <i>et al.</i> 2022
<i>Trichodesmium erythraeum</i>	Anatoxina-a Microcistinas Saxitoxinas LPS	Costa de Brasil	2009	577.20 x 10 ⁶	Proença <i>et al.</i> 2009
<i>Trichodesmium erythraeum</i>	Anatoxina-a Microcistinas Saxitoxinas LPS	Costas de Bangladesh	2020	91 470	Shaika <i>et al.</i> 2023
<i>Trichodesmium sp.</i>	Anatoxina-a Microcistinas Saxitoxinas LPS	Muelle Puntilla Laguna de Términos	2012-2013	306 000	Poot-Delgado <i>et al.</i> 2015
<i>Trichodesmium thiebautii</i>	Anatoxina-a Microcistinas Saxitoxinas LPS	Golfo de California	2016	-	Gárate-Lizárraga 2016

¿Quiénes son las cianoprocaritas
(Cyanophyceae, Cyanobacteria)?



Figura 1. Características generales de las cianobacterias o cianoprocaritas

Características morfológicas

UNICELULARES

Células solas



Células agrupadas

Colonias



Con mucílago



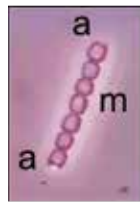
Globosas (3D)



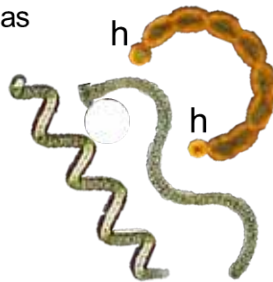
Planas

FILAMENTOSAS

Tricomas



Rectos



Espiralados
de cadenas libres

Filamentos



Envueltos en vaina o
mucílago

Figura 2. Características morfológicas de las cianobacterias unicelulares (coloniales) y filamentosas con producción de mucílago (m), vaina (v) y presencia de estructuras especializadas como los heterocistos (h) o la presencia de aerotopos (a).

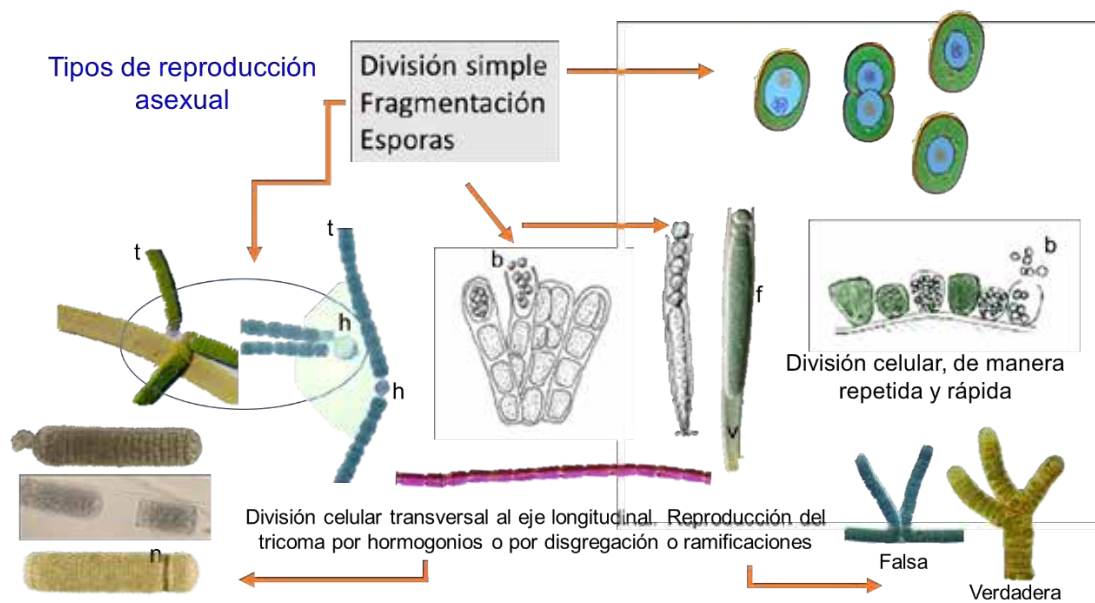


Figura 3. Tipo de reproducción asexual realizada por las cianobacterias unicelulares mediante una división simple o múltiple y por esporas (baecitos, b) y en las filamentosas por fragmentación del tricoma (t) o filamento (f), o bien por la formación de un necridio (n) o heterocisto (h), así como por ramificaciones falsas o bien verdaderas.

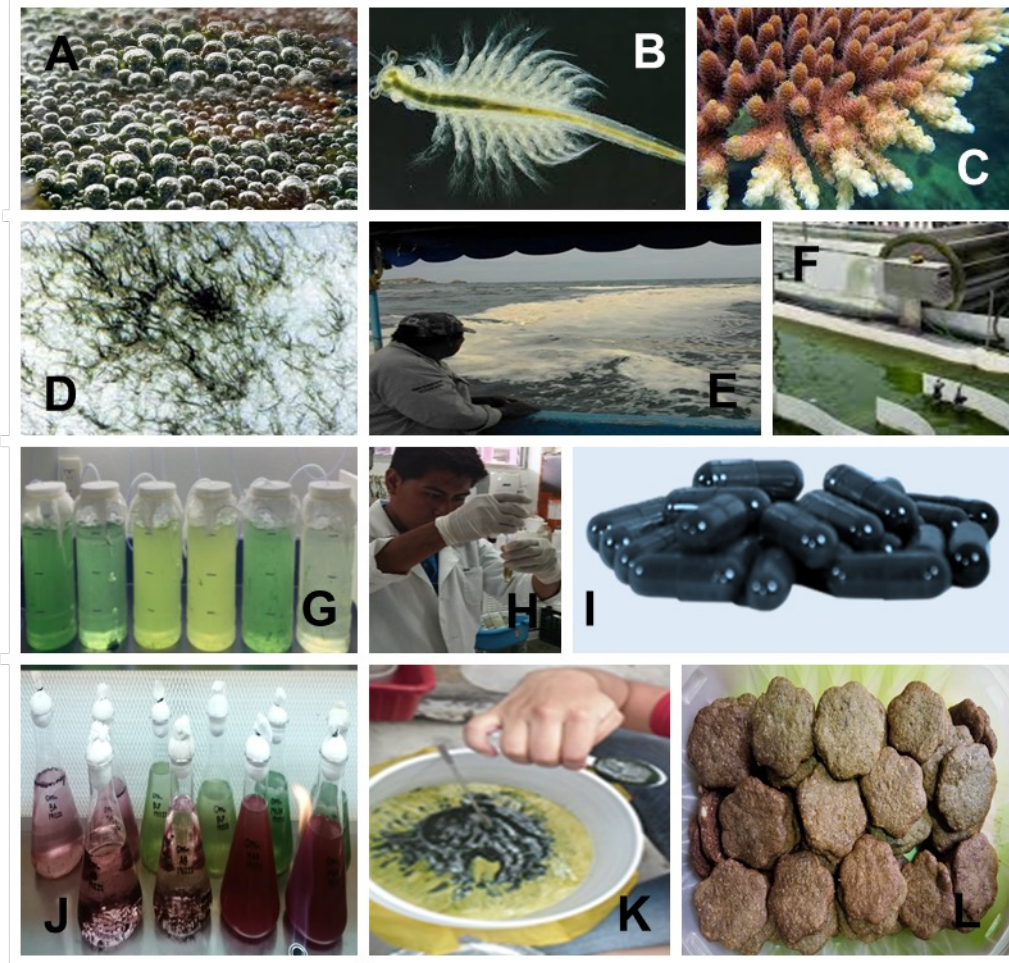


Figura 4. Características que resaltan la importancia de las cianobacterias. A) Aportan oxígeno que respiramos (50%), B) Son productores primarios (95%) y se emplean en alimentación larvaria, C) Sustentan la red trófica, D) Restauran suelos y sirven de biofertilizantes, E) Son fertilizadores en el ambiente marino y pueden producir FAN y toxinas, F-J) Su producción en laboratorio o a gran escala sirve para ciencia básica y aplicada, I) Se pueden producir metabolitos para la industria alimentaria y médica, J) son una fuente de pigmentos, K-L) Empleadas en la alimentación humana.

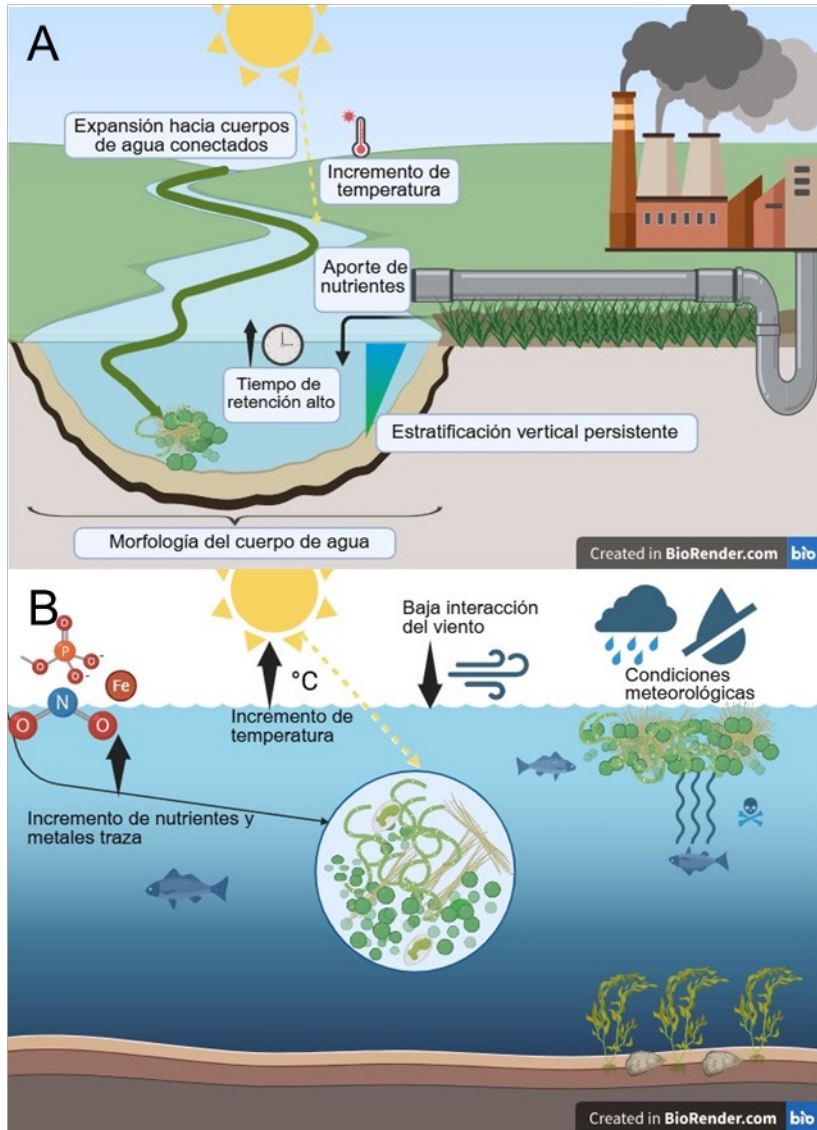


Figura 5. Causas que contribuyen a la proliferación de las cianobacterias en aguas continentales (A) y marinas (B).

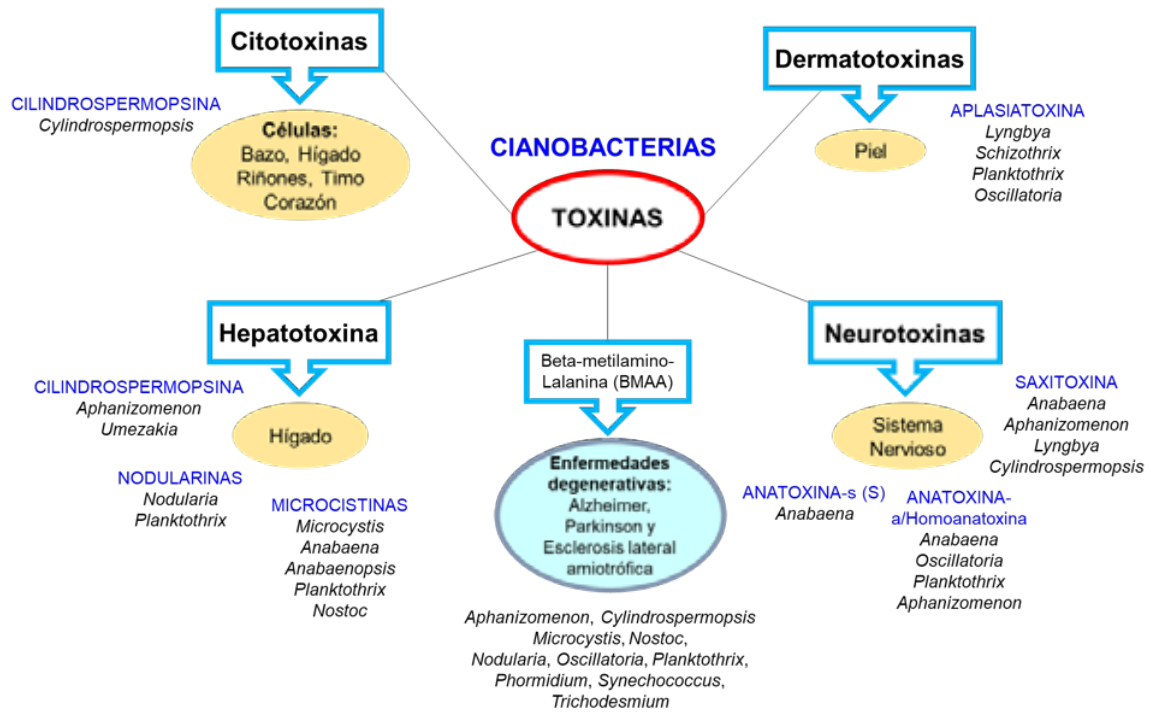


Figura 6. Toxinas producidas por las cianobacterias, lugar en donde inciden o se presenta su efecto y algunos géneros que las producen.

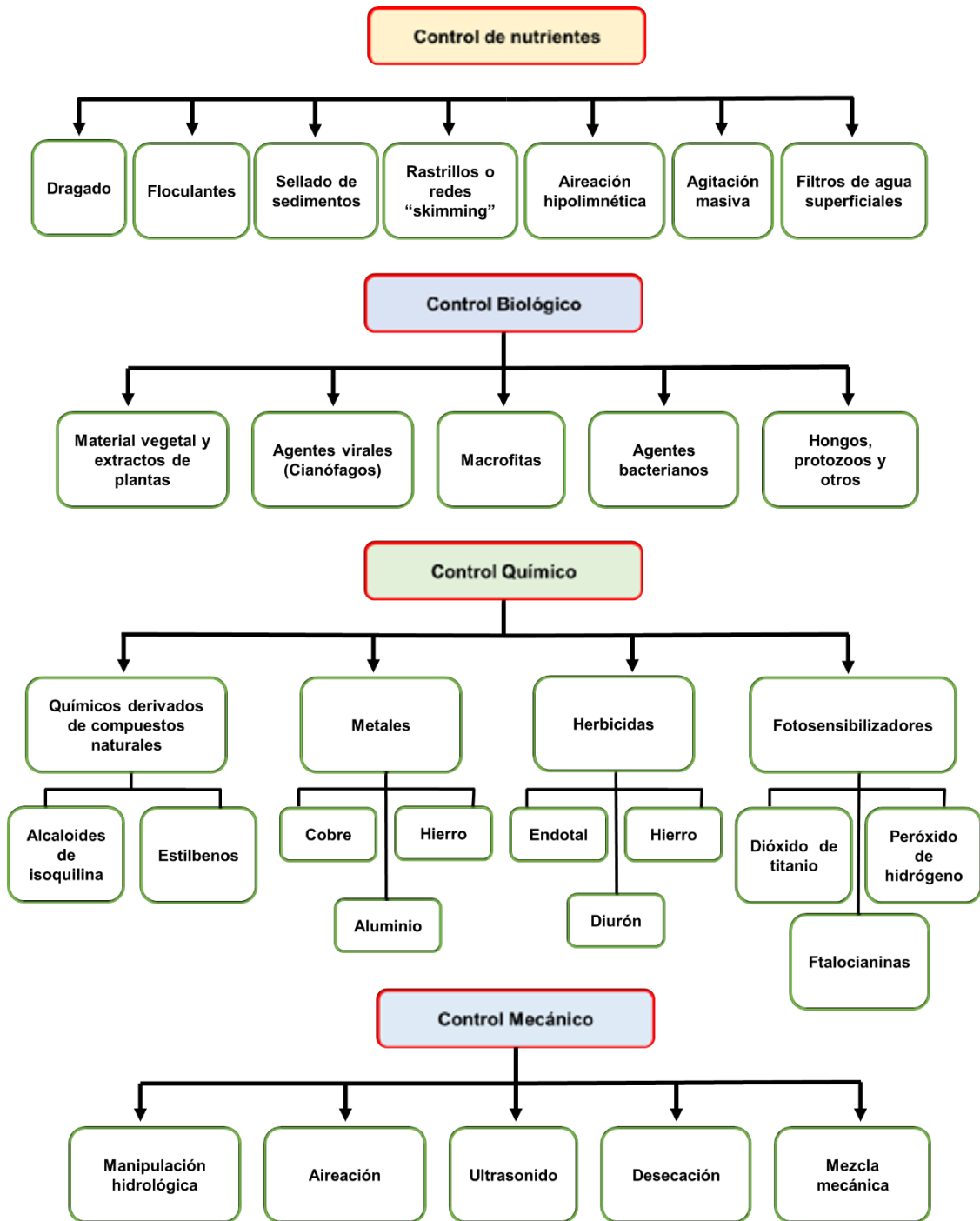


Figura 7. Ejemplos de métodos de control de FAN de cianobacterias en sistemas acuáticos. Tomado de Cobo (2015).

DIRECTORIO

SOCIEDAD MEXICANA DE FICOLOGÍA

<https://somfico.org/>

COMITÉ EJECUTIVO NACIONAL 2023-2025

Ileana Ortigón-Aznar

Presidenta

Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), Mérida,
Yucatán

e-mail: oaznar@correo.uady.mx

Dr. José Antolín Aké Castillo

Vicepresidente

Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad
Veracruzana

e-mail: aake@uv.mx

Dr. Julio Adulfo Acosta Calderón

Secretario General

Universidad del Mar

e-mail: julio seaweed@gmail.com

Dra. Erika Fabiola Vázquez Delfín

Secretaria Académica

CINVESTAV Mérida

e-mail: erika.vazquez@cinvestav.mx

Dr. Armin Tuz Sulub

Secretario Administrativo

UADY

e-mail: tuz@correo.uady.mx

M. en C. Emmanuel Santos May

Secretario de Difusión y Extensión

UADY

e-mail: miva.uam@gmail.com

CRÉDITO DE FOTO DE LA PORTADA

Laberinto de *Planktothrix* sp.

Montaje semipermanente. Foto in vivo. Objetivo 10X

Kathie Monserrat Estrada Gutiérrez

Unidad Nayarit del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (UNCIBNOR). Tepic,
Nayarit.

Ganadora del Concurso SOMEFAN de fotografía microscópica para mujeres. VII Congreso de la
Sociedad Mexicana para el Estudio de los Florecimientos Algales Nocivos, A.C., octubre de 2024.